



# Los microorganismos y las cuevas con pinturas rupestres

## The microorganisms and the rock-art caves

Cesáreo SÁIZ JIMÉNEZ<sup>1</sup>

### RESUMEN

El Sur de Europa posee un importante número de cuevas con pinturas rupestres. Algunas de estas son visitables y constituyen una atracción turística, mientras que otras no admiten visitas. Un aspecto, al que no se presta mucha atención, es la presencia de microorganismos en las paredes, techos, espeleotemas y pinturas y la evaluación de los posibles efectos que su colonización y extensión pueda tener sobre la conservación del arte rupestre y de la cueva, en general. En este trabajo se revisan algunos estudios sobre microorganismos, llevados a cabo en cuevas españolas, francesas e italianas.

### ABSTRACT

Southern Europe has an important number of rock-art caves. Some of them are show caves, and attract tourism, while others are closed to visitors. The colonization of caves by microorganisms and their dissemination pattern throughout the cave are of interest for rock-art conservation. Here we review the microorganisms present in some Spanish, French and Italian caves.

**PALABRAS CLAVES:** Algas. Artrópodos. Bacterias. Cuevas. Hongos. Microorganismos.

**KEY WORDS:** Algae. Arthropods. Bacteria. Caves. Fungi. Microorganisms.

## I. INTRODUCCIÓN

La Península Ibérica y Francia contienen el 96 % del arte paleolítico europeo (FORTEA PÉREZ, 2005). Ello hace que nuestro país sea un territorio privilegiado en cuanto a la abundancia y variedad de formas kársticas subterráneas con representaciones rupestres.

Algunas de las cuevas son visitables y constituyen una atracción turística, donde se suele conjugar el interés por el patrimonio geológico con el cultural. Ello ha dado lugar a que el turismo de masas ejerza una fuerte presión sobre algunas cuevas, que se han constituido en importantes focos de atracción turística, donde el interés económico suele prevalecer sobre la protección del espacio natural y del arte rupestre.

En la gestión de una cueva visitable, uno de los aspectos generalmente ignorado, o al que se presta escasa atención, es a la colonización de las rocas y espeleotemas por microorganismos. Salvo algunos casos espectaculares, que trascienden a los medios de comunicación, como el brote de hongos producido en la cueva de Lascaux, Francia, en el año 2001, la microbiología del resto de las cuevas ha sido poco investigada. Sin embargo, el conocimiento de la presencia de microorganismos en una cueva y las vías de dispersión de estos son necesarios a la hora de establecer

una política de conservación del arte rupestre y de prevención de invasiones microbianas.

Las cuevas originalmente carecen de luz, tienen relativamente poca carga de nutrientes orgánicos, presentan una temperatura constante a lo largo del año y extensas áreas de superficies minerales, lo que les confieren características particulares desde el punto de vista de su protección. Los microorganismos ocupan todos los nichos de una cueva, estando distribuidos por el aire, agua, suelos, rocas y espeleotemas. En ocasiones, la colonización es visible a simple vista, en los casos de bacterias, como manchas coloreadas, redondas o irregulares (Lámina I). Otras veces adoptan formas caprichosas, con una morfología fractal (Lámina II). En los casos de los hongos, estos crecen sobre substratos orgánicos introducidos en la cueva, adoptando un crecimiento típico en forma de largas hifas que se



Lámina I: Colonias de *Pseudonocardia* en espeleotemas de la cueva de Doña Trinidad, Ardales.

1. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Avda. Reina Mercedes nº10, (41012) Sevilla.  
Correo electrónico: saiz@irnase.csic.es





Lámina II: Colonias de *Nocardioptosis dasonvillei* en una estalactita de Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italia.



Lámina III: *Mucor piriformis* sobre excremento de rata en la cueva de las Estalactitas, Santillana del Mar.



Lámina IV: Colonización de microorganismos fototróficos en una estalactita de la cueva de Tito Bustillo, Ribadesella.

elevan sobre el substrato (Lámina III), o formando un entramado de micelios, de variados colores. Asimismo, los hongos colonizan superficies metálicas, plásticos, maderas, etc. introducidos en la cueva. Las cianobacterias y algas son favorecidas por las instalaciones de lámparas fijas para la iluminación, y tiñen de un color verde las paredes, techos y espeleotemas circundantes, debido a la producción de clorofila (Lámina IV).

Los datos sobre comunidades microbianas en cuevas con arte rupestre son escasos y, a veces, limitados a unas pocas cuevas. Más raros aún son los trabajos que presentan datos sobre los tipos de alteración que los microorganismos pueden causar sobre las pinturas. Ello se debe, generalmente, a la carencia de muestras para poder efectuar tales estudios, ya que el muestreo representa una importante agresión a la pintura. En este trabajo se pretenden dar a conocer los principales grupos de microorganismos presentes en cuevas.

## II. BACTERIAS

La colonización de una cueva es un proceso natural. Las cuevas, aún sin descubrir ni expuestas a las visitas, ya se encuentran colonizadas. Durante milenios,



estas cavidades subterráneas han mantenido un delicado equilibrio entre microorganismos y animales, que se rompe tan pronto el hombre elimina la barrera que la aislaba del exterior y la visita. En ese momento, la cueva se ve sometida al impacto de las comunidades microbianas y animales del exterior, que alteran el ecosistema. Junto a las visitas, la cueva, generalmente oligotrófica (con escasa materia orgánica disuelta en las aguas de goteo), se ve inundada de abundante materia orgánica procedente del exterior, lo que altera profundamente la cadena trófica y otras comunidades ajenas a la cueva ejercen una enorme presión sobre los habitantes originales, pudiendo llegar a desplazarlos.

Las publicaciones sobre bacterias en cuevas españolas con pinturas rupestres son relativamente escasas. En otros países se han estudiado cuevas colonizadas por bacterias quimioautótrofas, que son los posibles productores primarios (PECK, 1986; CUNNINGHAM *et alii*, 1995; SARBU *et alii*, 1996; LANGECKER *et alii*, 1996; HOLMES *et alii*, 2001). Algunos estudios recientes han mostrado que las comunidades microbianas encontradas en cuevas españolas son mayoritariamente heterótrofas (SCHABEREITER-GURTNER *et alii*, 2002a; 2002b; 2004; PORTILLO *et alii*, 2008; 2009), al igual que las de cuevas francesas (BASTIAN *et alii*, 2009a-c), e italianas (LAIZ *et alii*, 2000; GROTH *et alii*, 2001).

Chelius y Moore (2004), en un estudio sobre la cueva americana Wind Cave, identificaron tres tipos de comunidades microbianas: comunidades de superficie, comunidades subterráneas sometidas a impactos humanos, y comunidades subterráneas naturales. Tales comunidades fueron semejantes a las descritas para otras cuevas y no encontraron ninguna comunidad específica para la cueva estudiada, salvo una de Archaea cuyos autores proponían que podría ser específica para ambientes subterráneos. De manera similar, se ha descrito otra comunidad, metabólicamente activa, de Archaea en la Cueva de Altamira (GONZÁLEZ *et alii*, 2006).

Chelius y Moore (2004) consideraron que sus comunidades se basaban en la utilización de materia vegetal descompuesta, que era transportada a la cueva por las aguas de infiltración. En España, por ejemplo, ya habíamos observado que la Cueva de Altamira recibía aportes de materia orgánica y bacterias procedentes de filtraciones del suelo agrícola que la cubre (SAIZ-JIMÉNEZ y HERMOSIN, 1999; LAIZ *et alii*, 1999).

En nuestro país los estudios de biología molecular aplicados a las pinturas rupestres se inician con los trabajos de Schabereiter-Gurtner *et alii* (2002a; 2002b), quienes investigaron las comunidades microbianas presentes en una muestra de pintura roja de un bisonte de la cueva de Altamira, y de varias muestras de

colonias microbianas de la cueva de Tito Bustillo. En la primera se descubrió que la división *Acidobacterium* representaba casi el 24 % del total de los clones, y que sólo el 38 % de los clones estaban relacionados filogenéticamente con bacterias cultivadas. En Tito Bustillo se confirmó la presencia de acidobacterias en cuevas, llegando a representar el 25 % del total de clones. Posteriormente, el estudio se extendió a las cuevas de Llonín y La Garma, encontrándose que las comunidades microbianas de estas dos presentaban similitudes con las de Altamira y Tito Bustillo, particularmente en la elevada abundancia de acidobacterias y *Rhizobiaceae* (SCHABEREITER-GURTNER *et alii*, 2004). Además las cuevas presentaban bacterias relacionadas con la oxidación de amonio y azufre.

La importancia de la presencia de acidobacterias en cuevas llevó al estudio detallado de la presencia de éstas en la cueva de Altamira, ya que, anteriormente, únicamente se había estudiado una muestra de pintura roja. De los ocho subgrupos de acidobacterias descritos, cinco estaban representados en Altamira (ZIMMERMANN *et alii*, 2005), lo que demostró su elevada diversidad.

Recientemente, Cuezva *et alii* (2009) distinguieron tres tipos de comunidades microbianas en la cueva de Altamira, en función del color de la colonización: amarillas, blancas y grises. Estas se distribuían desde la entrada hasta la Sala de Policromos y la Sala de los Muros decreciendo progresivamente hacia el interior de la cueva. Cada colonización estaba compuesta por un elevado número de especies de bacterias, distintas entre ellas (PORTILLO *et alii*, 2008; 2009). La distribución espacial y su representación en la cueva demostraron que cada tipo de comunidad se alojaba en nichos diferentes, donde los aportes de materia orgánica y los parámetros microclimáticos variaban. Así, las comunidades amarillas predominan en la entrada, Cocina, decreciendo su número en el cruce y en la galería de acceso a Policromos, raras en la Sala de los Muros y ausentes en Policromos. Estas comunidades se encontraban en lugares donde existía una mayor variación de los parámetros microclimáticos. Las colonias blancas se distribuían a lo largo de la entrada y galerías hasta Policromos, siendo las únicas que han colonizado esa sala, con condiciones microclimáticas muy estables. Las colonias grises estaban muy representadas en la Sala de los Muros, pero también aparecían en el cruce y en la galería de acceso a Policromos, con variaciones microclimáticas intermedias.

Stomeo *et alii*, (2008) investigaron las comunidades bacterianas de la cueva de Doña Trinidad y Santimamiñe, que aparecían sobre los sedimentos en forma de colonias blancas, encontrando que estaban compuestas mayoritariamente por actinobacterias metabólicamente activas del género *Pseudonocardia*. Los



elevados porcentajes de actinobacterias en estas cuevas, las alejan de las anteriormente estudiadas, particularmente las de la cornisa Cantábrica. En Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italia, también se encontraron elevados porcentajes de actinobacterias cultivables y de colonizaciones de estos microorganismos en espeleotemas, como se presenta en la Lámina II (GROTH *et alii*, 2001).

### III. MICROORGANISMOS FOTOTRÓFICOS

Con el fin de facilitar las visitas, en muchas cuevas se instala una iluminación artificial fija, lo que conduce a la colonización de las paredes, techos, suelos y espeleotemas por cianobacterias y algas. Estos microorganismos fototróficos sólo se encuentran en las entradas de las cuevas, sometidas a la influencia directa de la luz solar, y suelen desaparecer a medida que se progresa hacia el interior. Las principales especies de cianobacterias presentes en cuevas han sido estudiadas por Abdelahad y Bazzichelli (1988), Aboal *et alii*, (1994), y Hernández Mariné y Canals (1994). Colonizaciones similares se presentan en las catacumbas de Roma, donde se han efectuado estudios encaminados a controlar los microorganismos mediante la utilización de lámparas cuya luz emita en longitudes de onda que inhiban su crecimiento (ALBERTANO *et alii*, 2003). Una elegante demostración experimental sobre el efecto de la luz verde en las comunidades fototróficas fue publicada por Roldán *et alii*, (2006). En los casos en que la colonización es reciente y superficial, la eliminación es fácil (AKATOVA *et alii*, 2009), pero si son colonizaciones antiguas y estos microorganismos han quedado englobados en cristales de calcita, la desaparición del color verde en estalactitas y estalagmitas implicaría un ataque químico para disolver la calcita y liberar las células con clorofila.

En cuevas con pinturas rupestres tenemos documentados dos casos extremos, uno el de la cueva de Lascaux, que hacia los años 60, veinte años después de su descubrimiento, fue invadida por el alga *Bracteacoccus minor* (LEFÉVRE, 1974) como consecuencia de la iluminación utilizada para mostrar las pinturas a las visitas. Los tratamientos, en 1963, con estreptomycin y penicilina para combatir las bacterias, más formaldehído para erradicar las algas, dieron lugar al comienzo de las drásticas manipulaciones que ha sufrido esta cueva para luchar con las periódicas colonizaciones microbianas, y que aún continúan en el año 2009.

Otro caso, es la cueva de Tito Bustillo, donde en los años 90 la iluminación artificial inducía el crecimiento de cianobacterias y algas, tanto en las estalactitas y estalagmitas como en el suelo de la cueva. La cianobacteria más representativa de la comunidad era *Scytonema julianum*. El sistema de iluminación se corrigió posteriormente.

### IV. HONGOS

Los mecanismos que conducen a la proliferación de hongos en determinadas cuevas son desconocidos. Generalmente, el brote de hongos aparece de repente y no existe constancia de sus causas. El nivel de conocimientos existentes sobre la ecología de las comunidades microbianas en cuevas, y las peculiares características del ecosistema, hacen muy difícil el poder combatir con éxito la diseminación de hongos en cuevas, una vez que estos se han establecido.

En la última década, y desde la colonización masiva de la cueva de Lascaux, en el año 2001 por *Fusarium solani*, se ha desatado una polémica a nivel mundial, donde los medios de comunicación por una parte (GRAFF, 2006; 2008; DE ROUX, 2007; SIMONS, 2007), asociaciones de protección del Patrimonio, por otra (DI PIAZZA, 2007) y el Ministerio de Cultura francés (SIRE, 2006; 2008; VIDAL, 2008), debaten sobre las causas de la colonización y los métodos para combatirla. Se ha especulado con que el brote de la cueva de Lascaux pudo ser debido a la introducción de agua y fango en la cueva como consecuencia de lluvias torrenciales, poco antes de la invasión (DUPONT *et alii*, 2007). Solo muy recientemente se han podido conocer las causas y los efectos de la contaminación de la cueva (BASTIAN *et alii*, 2009a-c).

En esta cueva se ha utilizado masivamente el biocida cloruro de benzalconio para combatir *F. solani*, caracterizado por la formación de masas de hifas blancas sobre el suelo y paredes. El empleo durante años sucesivos de este biocida ha seleccionado bacterias y hongos resistentes al tratamiento y, en los últimos años, han aparecido explosivamente manchas negras sobre los paneles de pinturas. Se cree que estas manchas negras están producidas por el crecimiento de hongos dematiáceos, cuyas paredes contienen melaninas. El tema está en estudio, a fin de identificar el tipo de melanina presente en las manchas negras y relacionarlas con las producidas por los hongos aislados.

El 26 de agosto de 2008 se descubrió en la cueva de Castañar de Ibor, Cáceres, un crecimiento masivo de *Fusarium solani* y *Mucor circinelloides*, debido a un vertido accidental de residuos (el vómito de un visitante) que en 40 horas había dado lugar a una colonización masiva de suelos y paredes (SAIZ-JIMENEZ *et alii*, 2009). El brote se está controlando con eficacia mediante limpieza mecánica y la utilización de peróxido de hidrógeno para oxidar la materia orgánica y eliminar las estructuras fúngicas no accesibles. Otras cuevas, como Lascaux, han sido tratadas con cloruro de benzalconio, lo que ha originado serios problemas ambientales, y una sucesiva colonización por otros hongos, de forma que hoy se puede considerar dicha cueva como ejemplo de una inadecuada gestión en la for-



ma de combatir los brotes de hongos (BASTIAN *et alii*, 2009a; 2009b).

El aire de la cueva de Altamira, como otras tantas cuevas, tiene una abundante carga de bacterias y de hongos. Sin embargo, aunque este hecho era conocido con anterioridad, los hongos no habían afectado a las paredes. Una teoría sobre el comportamiento de los hongos en Altamira ha sido publicada por Jurado *et alii*, (2009a), quienes también han discutido los mecanismos de introducción de tales hongos. En general, parece ser que, aparte de la introducción de esporas procedentes del exterior por corrientes de aire, dos factores fundamentales son la existencia de insectos, que portan hongos entomófilos y/o entomopatógenos, y de roedores, cuyos excrementos favorecen el crecimiento de hongos y la dispersión en la cueva de conidios (JURADO *et alii*, 2008a). Estos, si son retenidos por gotas de agua, en el techo de la cueva, pueden germinar y dan lugar, esporádicamente, a la presencia de hifas de hongos, de 2 a 3 cm de longitud (JURADO *et alii*, 2009a), que cuelgan del techo y que son periódicamente controladas, identificadas y eliminadas, en una labor constante de mantenimiento.

## V. OTROS HABITANTES DE CUEVAS

Las cuevas contienen una abundante población de artrópodos que generalmente es ignorada en las labores de limpieza y mantenimiento. Dependiendo de la adaptación y el tiempo de permanencia en la cueva, los artrópodos se clasifican como troglóxenos, aquellos que encuentran refugio temporal en una cueva, troglófilos cuando pueden completar su ciclo de vida en el exterior o exterior de la cueva, y troglobios, cuya vida transcurre completamente en la cueva. Estos artrópodos se alimentan de bacterias, hongos, protozoos, ácaros o excrementos de animales.

La existencia de artrópodos es especialmente importante en las cuevas con pinturas rupestres, donde se ha demostrado que, no sólo transportan esporas de hongos, sino que muchos de esos hongos son parásitos de determinados grupos de insectos, que terminan matando al huésped y utilizando su cuerpo para colonizar otros ambientes. Jurado *et alii*, (2008a) han publicado una lista de los principales géneros de hongos entomopatógenos. Mariposas, polillas, moscas, mosquitos, escarabajos, arañas, ácaros, todos muy frecuentes en cuevas, soportan especies de hongos patógenos. También los nemátodos presentes en las aguas y suelos. La mayoría de estos hongos son capaces de crecer a partir de la escasa materia orgánica disuelta en las aguas de goteo de una cueva, lo que indica el tremendo potencial colonizador que poseen.

Recientemente ha llamado la atención la presencia de una abundante población de colémbolos en cue-

vas con arte rupestre (Lámina V). En este caso, los colémbolos estaban asociados a las manchas negras que cubrían los suelos y bancadas de la cueva de Lascaux, de cuyos hongos se alimentan (JURADO *et alii*, 2009c). Estos colémbolos ingieren las esporas, que no son atacadas a su paso por el tracto digestivo, y son excretadas. Las esporas, en presencia de la materia orgánica y de suficiente humedad, germinan, colonizando los excrementos y contribuyendo a la dispersión de propágulos por toda la cueva. Los excrementos de roedores también soportan abundantes poblaciones de hongos. La presencia de unos pocos roedores es una de las mayores agresiones que una cueva puede sufrir, debido a la capacidad reproductiva de los hongos especializados en colonizar los excrementos, generalmente especies de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Mucor*, capaces de generar en pocos días millones de conidios que se distribuyen por toda la cueva mediante las corrientes de aire, y que posteriormente colonizarán cualquier tipo de materia orgánica presente en la cueva.



Lámina V: Colémbolos sobre manchas negras en la cueva de Lascaux (Montignac, Francia).

## VI. POSIBLES REPERCUSIONES DE LAS VISITAS SOBRE LA SALUD

Un aspecto relevante a considerar es la presencia de bacterias y hongos potencialmente patógenos en las cuevas. En los últimos años, las actinobacterias y especialmente los géneros *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Gordonia*, *Rhodococcus* y *Streptomyces* han sido objeto de múltiples estudios a nivel internacional. Muchas de estas especies son patógenas para el hombre, siendo responsables de diversas infecciones cutáneas, pulmonares y cerebrales.

Existen evidencias de la existencia de un importante reservorio de bacterias patógenas pertenecientes a la Clase *Proteobacteria* en cuevas. Por ejemplo, últimamente se han aislado, en cuevas españolas, espe-



cies del género *Inquilinus* (patógeno común en casos de fibrosis quísticas) y del género *Afipia* (asociado a protozoos). Además, se han detectado, mediante técnicas moleculares, la existencia de reservorios de *Legionella* en la cueva de Lascaux (BASTIAN *et alii*, 2009a). Finalmente, se han publicado recientemente interesantes casos clínicos debidos a *Aurantimonas altamirensis* (JURADO *et alii*, 2006), una bacteria aislada en la cueva de Altamira. Dos años después, en un hospital canadiense, se efectuó el segundo aislamiento mundial de esta especie, obteniéndose de la expectoración de pacientes que padecían fibrosis quística, conjuntivitis, o úlceras oculares (LUONG *et alii*, 2008). El último aislamiento de esta especie tuvo lugar en un hospital de Indianapolis, describiéndose la bacteria como agente responsable de bacteremia (MENDES *et alii*, 2009). Recientemente, un nuevo género y dos especies de bacterias, *Nocardia altamirensis* y *Hoyosella altamirensis*, ha sido descritos en la misma cueva (JURADO *et alii*, 2008; 2009b).

Otro aspecto, generalmente poco tratado, es la presencia de hongos patógenos en cuevas. En efecto, existen abundantes referencias al hongo causante de la histoplasmosis, *Histoplasma capsulatum*, que se encuentra en suelos y cuevas habitadas por murciélagos. Este hongo produce histoplasmosis pulmonar y es relativamente frecuente en exploradores de cuevas (NIEVES-RIVERA *et alii*, 2009). Recientemente se ha encontrado una abundancia de especies del género *Trichosporon* (levaduras) en la cueva de Doña Trinidad, Ardales. Este género se aísla comúnmente de guano de murciélagos, que es una rica fuente de levaduras y de especies aún por describir (SUGITA *et alii*, 2005). Los murciélagos están presentes en muchas cuevas. Actualmente, se han descrito 21 especies del mencionado género, algunas de ellas psicrófilas, otras asociadas a animales y cinco de ellas de marcado carácter clínico (DE HOOG *et alii*, 2000). En nuestros estudios preliminares no se han encontrado ninguna de las cinco especies patógenas descritas, pero la recogida de excrementos fue escasa, sólo dos muestras, por lo que parece necesario profundizar en el tema.

## VII. NUEVAS TENDENCIAS EN EL ESTUDIO DE COMUNIDADES MICROBIANAS EN CUEVAS

La utilización de técnicas moleculares, para la detección de microorganismos metabólicamente activos, están empezando a revelar la importancia de grupos de bacterias hasta entonces desconocidos en cuevas. Sin embargo, estas técnicas no han sido aplicadas al estudio de los hongos metabólicamente activos. Ello es de especial importancia, ya que, en cuevas, la utilización de biocidas o cualquier otro agente químico empleado en una limpieza y eliminación de microorganismos, debe llevar aparejado un control y seguimiento de la efectividad del producto y de la completa elimi-

nación del problema. Desgraciadamente la carencia de control en las labores de limpieza y restauración y de los productos utilizados ha dado lugar a problemas difíciles de solucionar *a posteriori*. Actualmente, en nuestro grupo se han desarrollado las técnicas necesarias para discriminar los hongos activos, que están siendo aplicadas a las cuevas de Lascaux y de Castañar de Ibor, donde se estudian las comunidades fúngicas antes, durante y después de la aplicación de biocidas.

## VIII. CONCLUSIONES

La visita a una cueva origina una serie de impactos. Aparte de los que se producen sobre el microclima y la geoquímica de la cueva, las visitas tienen una decidida influencia en las comunidades microbianas. Ello se debe al aporte de materia orgánica que se introduce en el calzado de los visitantes, las fibras de tejidos y pelos que se desprenden, los residuos que abandonan, etc.

La ecología microbiana en cuevas es un campo, en cierto modo, poco estudiado. Las técnicas moleculares han detectado la presencia de grupos de bacterias desconocidas en cavidades subterráneas. Hasta hoy día son pocos los estudios relacionados con la microbiología de cuevas y, en los últimos años, se están aislando nuevas especies de bacterias, que demuestran el desconocimiento de la diversidad microbiana en ambientes subterráneos.

En muchas cuevas, las colonizaciones son visualmente apreciables. Aparte del efecto estético que produce, si el crecimiento de microorganismos se origina sobre las pinturas, dificulta su eliminación.

Por otra parte, la posibilidad de determinar los reservorios de bacterias y hongos patógenos en cuevas, de conocer la distribución de las comunidades e identificar sus componentes son de gran importancia para poder controlar su potencial efecto sobre el hombre, dado que este, cada vez con mayor frecuencia, incluye las visitas a cuevas entre sus actividades de ocio y turismo.

Las visitas con vestimenta, calzado y guantes que impida la contaminación de la cueva parece, hoy día, un requerimiento necesario, así como también el uso de mascarilla que impida la inhalación de microorganismos, abundantemente presentes en el aire. Ante la diversidad de microorganismos presentes en cuevas, debe prohibirse la visita de personas inmunodeprimidas, con trasplantes o bajas de defensas, por el riesgo de adquirir enfermedades respiratorias debido a la presencia de bacterias oportunistas y patógenas.

## AGRADECIMIENTOS

Los trabajos relacionados en esta revisión han sido financiados por el proyecto CGL2006-07424/BOS y el



"Programa de investigación en Tecnologías para la Valoración y Conservación del Patrimonio" (CONSOLIDER CSD2007-00058).

## BIBLIOGRAFÍA

- ABDELAHAD, N. y BAZZICHELLI, G. (1988): "*Geitleria calcarea* Friedmann, Cyanophyceae cavernicole nouvelle pour l'Italie", *Nova Hedwigia* 46, Stuttgart, 265-270.
- ABOAL, M., ASENCIO, A. D. y PREFASI, M. (1994): "Studies on cave cyanophytes from southeastern Spain: *Scytonema julianum* (Meneghini ex Franck) Richter", *Algological Studies* 75, Stuttgart, 31-36.
- ALBERTANO, P. et alii (2003): "Cyanobacteria attack rocks (CATS): control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman hypogean monuments", *Molecular Biology and Cultural Heritage* (C. Saiz-Jimenez ed.), Lisse, 151-162.
- AKATOVA, E. et alii (2009): "On the efficiency of biocides and cleaning treatments in restoration works of subterranean monuments", *Science and Cultural Heritage in the Mediterranean Area*, Palermo 316-322.
- BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. y SAIJ-JIMENEZ, C. (2009a): "Bacteria and free-living amoeba in Lascaux Cave", *Research in Microbiology* 160, Amsterdam, 38-40.
- BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. y SAIJ-JIMENEZ, C. (2009b): "Impact of biocide treatments on the bacterial communities of the Lascaux Cave", *Naturwissenschaften*, 96 Heidelberg, 863-868.
- BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. y SAIJ-JIMENEZ, C. (2009c): "The impact of arthropods on fungal community structure in Lascaux Cave", *Journal of Applied Microbiology*, 106 Hoboken, 1456-1462.
- CHELIUS, M. K. y MOORE, J. C. (2004): "Molecular phylogenetic analysis of Archaea and Bacteria in Wind Cave, South Dakota", *Geomicrobiology Journal* 21, Philadelphia, 123-134.
- CUEZVA, S. et alii (2009): "Microbial communities and associated mineral fabrics in Altamira Cave, Spain", *International Journal of Speleology* 38, Bologna, 83-92.
- CUNNINGHAM, K. I. et alii (1995): "Bacteria, fungi and biokarst in Lechuguilla Cave, Carlsbad Caverns National Park, New Mexico", *Environmental Geology* 25, Heidelberg, 2-8.
- DE HOOG, G. S. et alii (2000): *Atlas of Clinical Fungi*, Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn.
- DE ROUX, E. (2007): "Les fresques de Lascaux menacées par des moisissures", *Le Monde* (26 - November - 2007), Paris.
- DI PIAZZA, M. (2007): "The crisis in Lascaux: update March 2007", *Rock Art Research* 24, Melbourne, 136-137.
- DUPONT, J. et alii (2007): "Invasion of the French Paleolithic painted cave of Lascaux by members of the *Fusarium solani* species complex", *Mycologia* 99, Lawrence, 526-533.
- FORTEA PÉREZ, J. (2005): "Iberian Palaeolithic rock art", *Coalition* 15, Sevilla, 8-14.
- GRAFF, J. (2006): "Saving beauty", *Time* (15 - May - 2006), 6-42.
- GRAFF, J. (2008): "Lascaux. Patrimoine en péril", *Les Dossiers d'Archéologie* 15 (Hors série), Dijon, 46-53.
- GONZALEZ, J. M., PORTILLO, M. C. y SAIJ-JIMENEZ, C. (2006): "Metabolically active Crenarchaeota in Altamira Cave", *Naturwissenschaften* 93, Heidelberg, 42-45.
- GROTH, I. et alii (1999): "Actinomycetes in karstic caves of Northern Spain (Altamira and Tito Bustillo)", *Journal of Microbiological Methods* 36, Amsterdam, 115-122.
- GROTH, I. et alii (2001): "Geomicrobiological study of the Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italy", *Geomicrobiology Journal* 18, Philadelphia, 241-258.
- HERNANDEZ-MARINE, M. y CANALS, T. (1994): "*Herpyzonema pulverulentum* (Mastigocladaceae) a new cavernicolous atmophytic and lime-incrusted cyanophyte", *Algological Studies* 75, Stuttgart, 123-136.
- HOLMES, A. J. et alii (2001): "Phylogenetic structure of unusual aquatic microbial formations in Nullarbor caves, Australia", *Environmental Microbiology* 3, Oxford, 256-264.
- JURADO, V. et alii (2006): "*Aurantimonas altamirensis* sp. nov., a member of the order Rhizobiales isolated from Altamira Cave", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56, Reading, 2583-2585.
- JURADO, V., SANCHEZ-MORAL, S. y SAIJ-JIMENEZ, C. (2008a): "Entomogenous fungi and the conservation of the cultural heritage: A review", *International Biodeterioration and Biodegradation* 62, Amsterdam, 325-330.
- JURADO, V. et alii (2008b): "*Nocardia altamirensis* sp. nov., isolated from Altamira Cave, Cantabria, Spain", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 58, Reading, 2210-2214.
- JURADO, V. et alii (2009a): "The fungal colonization of rock art caves", *Naturwissenschaften*, 96 Heidelberg 1027-1034.
- JURADO, V. et alii (2009b): "*Hoyosella altamirensis* gen. nov., sp. nov., isolated from Altamira Cave, Cantabria, Spain", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59 Reading 3105-3110.
- JURADO, V. et alii (2009c): "What can molecular microbiology tell us about Lascaux Cave?", *15th International Congress of Speleology*, Kerrville, Texas Vol 1, 384-388.
- LAIZ, L. et alii (1999): "Microbiological study of the dripping waters in Altamira cave (Santillana del Mar, Spain)", *Journal of Microbiological Methods* 36, Amsterdam, 129-138.
- LAIZ, L. et alii (2000): "Microbiology of the stalactites from Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italy", *International Microbiology* 3, Madrid, 25-30.
- LANGHECKER T. G., WILKENS, H. y PARZEFALL, J. (1996): "Studies on the trophic structure of an energy-rich Mexican cave (Cueva de las Sardinias) containing sulfurous water", *Memories de Biospeologie* 23, Moulis-Saint Girons, 121-125.
- LEFEVRE, M. (1974): "La maladie verte de Lascaux", *Studies in Conservation* 19, London, 126-156.
- LUONG, M-L. et alii (2008): "First report of isolation and characterization of *Aurantimonas altamirensis* from clinical samples", *Journal of Clinical Microbiology* 46, Washington, 2435-2437.
- MENDES, R. E. et alii (2009): "Case report of *Aurantimonas altamirensis* bloodstream infection", *Journal of Clinical Microbiology* 47, Washington, 514-515.
- NIEVES-RIVERA, A. M. et alii (2009): "Guanophilic fungi in three caves of southwestern Puerto Rico", *International Journal of Speleology* 38, Bologna, 61-70.
- PECK, S. B. (1986): "Bacterial deposition of iron and manganese oxides in North American caves", *National Speleology Society Bulletin* 48, Huntville, 26-30.
- PORTILLO, M. C., GONZALEZ, J. M. y SAIJ-JIMENEZ, C. (2008): "Metabolically active microbial communities of yellow and grey co-

lonizations on the walls of Altamira Cave, Spain", *Journal of Applied Microbiology* 104, Hoboken, 681-691.

PORTILLO, M. C., SAIZ-JIMENEZ, C. y GONZALEZ, J. M. (2009): "Molecular characterization of total and metabolically active bacterial communities of 'white colonizations' in the Altamira Cave, Spain", *Research in Microbiology* 160, Amsterdam, 41-47.

ROLDÁN, M. *et alii* (2006): "Does green light influence the fluorescence properties and structure of phototrophic biofilms", *Applied and Environmental Microbiology* 72, Washington, 3026-3031.

SAIZ-JIMENEZ, C. y HERMOSIN, B. (1999): "The nature of the organic matter present in dripping waters from Altamira cave", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 49, Amsterdam, 337-347.

SAIZ-JIMENEZ, C. *et alii* (2009): "The control of a fungal outbreak in a show cave", *15th International Congress of Speleology*, Kerrville, Texas Vol 1, 410-412.

SARBU, S. M., KANE, T. C. y KINKLE, B. K. (1996): "A chemoautotrophically based cave ecosystem", *Science* 272, Washington, 1953-1955.

SCHABEREITER-GURTNER, C. *et alii* (2002a): "Altamira cave Paleolithic paintings harbor partly unknown bacterial communities", *FEMS Microbiology Letters* 211, Amsterdam, 7-11.

SCHABEREITER-GURTNER, C. *et alii* (2002b): "Phylogenetic 16S rRNA analysis reveals the presence of complex and partly unknown bacterial communities in Tito Bustillo cave, Spain, and on its Palaeolithic paintings", *Environmental Microbiology* 4, Oxford, 392-400.

SCHABEREITER-GURTNER, C. *et alii* (2004): "Phylogenetic diversity of bacteria associated with Paleolithic paintings and surrounding rock walls in two Spanish caves (Llonin and La Garma)", *FEMS Microbiology Ecology* 47, Amsterdam, 235-247.

SIMONS, M. (2007): "Fungus once again threatens French cave paintings", *New York Times*, (9 - December - 2007).

SIRE, M. A. (2006): "De l'élimination des champignons au constat d'état", *Monumental* 2, Paris, 68-75.

SIRE, M. A. (2008): "Lascaux. À la recherche d'une nouvelle stratégie de conservation préventive", *Les Dossiers d'Archéologie* 15 (Hors série), Dijon, 54-63.

STOMEIO, F. *et alii* (2008): "Pseudonocardia in white colonizations in two caves with Paleolithic paintings", *International Biodeterioration and Biodegradation* 62, Amsterdam, 483-486.

SUGITA, T. *et alii* (2005): "Trichosporon Species Isolated From Guano Samples Obtained From Bat-Inhabited Caves In Japan", *Applied and Environmental Microbiology* 71, Washington, 7626-7629.

VIDAL, P. (2008): "La conservation de Lascaux. D'une crise (1957-1963) à l'autre (2000-2007)", *Les Dossiers d'Archéologie* 15 (Hors série), Dijon, 30-45.

ZIMMERMANN, J. *et alii* (2005): "Detection and phylogenetic relationships of a highly diverse uncultured acidobacterial community on paleolithic paintings in Altamira Cave using 23S rRNA sequence analyses", *Geomicrobiology Journal* 22, Philadelphia, 379-388.